

Таким образом, использование физической теплоты раскаленного кокса в коксохимическом производстве позволяет достичь значительного энергосберегающего эффекта для металлургического предприятия.

Для полного визуального восприятия процессов, происходящих в установке сухого тушения кокса, по предлагаемому в статье мероприятию, был разработан анимационный материал с подробным описанием всех происходящих поочередных операций в УСТК.

С использованием обширного комплекса компьютерных программ, таких как: Компас 3d, среда для объёмного моделирования промышленных заготовок, 3ds Max, позволяющий обрабатывать модели и визуализировать их, придавая реалистичность, Adobe After Effects, предоставляющий инструменты для обработки полученных в процессе рендеринга видеоматериалов.

Список использованных источников

1. Пат. 99073824 Украина. Способ сухого тушения кокса / С. Н. Петрушов, И. Ф. Русанов, Н. И. Русанова и др. Оpubл. в Б.И. 2001, № 2. С. 67-70.
2. Гордеева И. С., Сергеева А. А., Картавцев С. В. Оценка энергосберегающего эффекта в агломерационном производстве // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: материалы 16-й Всерос. науч.- практ.-конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Е. Б. Агапитова. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2015. С. 9-12.
3. Никифоров Г. В., Олейников В. К., Заславец Б. И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М. : Энергоатомиздат, 2003. С. 146.

УДК 621.78

Горшенин А. С., Дворникова Е. А.
Самарский государственный технический университет
andersonag1@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТРУЙНОГО КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВА АЛЮМИНИЕВОГО РУЛОНА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ

Аннотация. В работе рассматривается моделирование конвективного теплообмена при термической обработке алюминиевого рулона горячими струями воздуха. Сформулирована математическая постановка задачи. Получена математическая модель, позволяющая аналитически исследовать теплообмен при нагреве рулона.

При непрерывном литье алюминиевой ленты происходит образование неоднородной структуры металла, т.е. дендритной ликвации, появлению микропор, трещин [1]. Для устранения таких дефектов, ухудшающих качество слитков, проводят термическую обработку, одним из видов которой является отжиг. Исследование теплообмена при отжиге круглых алюминиевых слитков подробно

описано в [2, 3]. Помимо круглых слитков в качестве алюминиевого полуфабриката используется также лента, которую тоже подвергают отжигу. В связи с этим возникает необходимость подробно изучить теплообмен при термообработке алюминиевой ленты. Для исследования процесса теплообмена прежде всего необходимо получить математическую модель теплообмена между алюминиевым рулоном и горячим воздухом.

Сформулируем физическую постановку задачи теплообмена в системе горячий воздух – алюминиевый рулон.

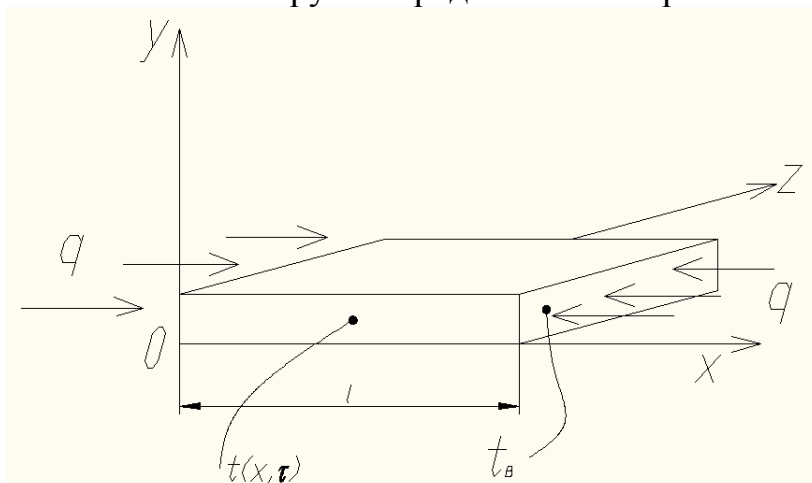
В печи происходит термическая обработка садки - алюминиевой ленты, скрученной в рулон, из литейной машины. Термическая обработка – нагрев для отжига (гомогенизации), температура процесса 600 °С. Подвод теплоты происходит струями горячего воздуха в два боковых торца рулона. Следствием данной физической постановки задачи являются следующие допущения:

- 1) на торцах рулона происходит равномерный нагрев конвекцией;
- 2) нагрев листов рулона происходит за счет теплопроводности вдоль оси рулона;
- 3) передача теплоты происходит вдоль рулона, а по радиусу рулона теплота не передается из – за термических сопротивлений.

Сформулируем математическую постановку задачи.

Лист рулона можно представить пластиной в прямоугольных координатах. Примем следующие условные обозначения: t_B - температура горячего воздуха, °С, t - температура алюминиевого листа, °С, τ - время нагрева, l - ширина рулона, m . Лист омывается горячим воздухом с температурой t_B , °С с постоянной скоростью w , м/с. Теплота q равномерно подводится по всему торцу листа. В процессе нагрева температура листа алюминия изменяется от начальной t_0 до конечной температуры t .

Расчетная схема теплообмена к постановке задачи теплообмена в системе горячий воздух – алюминиевый рулон представлена на рис.



Расчетная схема теплообмена к постановке задачи в системе горячий воздух – алюминиевый рулон

Анализ расчетной схемы показывает, что температура листа изменяется только по координате X . Так как горячий воздух равномерно омывает торцы листа, изменения температуры по координате Z нет, т.е. $t \neq f(Z)$. По координате Y

изменения температуры так же нет $t \neq f(y)$, так как тело термически тонкое. Таким образом, температура листа изменяется только по оси рулона $t = f(X)$. Нагрев рулона нестационарный, т.е. $t = f(X, \tau)$. Нагрев происходит горячим воздухом с постоянной температурой $t_B = const$.

В начальный момент времени нагрева $\tau = 0$ температура рулона t , являющаяся функцией координаты X и времени нагрева τ , принимает значение t_0 , $t = f(X, \tau) = f(X) = t_0$.

Все это позволяет сформулировать постановку задачи теплообмена в системе горячий воздух – алюминиевый рулон. Постановка задачи включает описание процесса, расчетную схему теплообмена (рис.), дифференциальное уравнение теплопроводности, начальные и граничные (1) условия:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \\ t|_{x=0} = t_B \\ t|_{x=l} = t_B \\ t|_{\tau=0} = t_0 \end{cases} \quad (1)$$

Для более компактной записи, удобной для дальнейшего математического анализа, перейдем к безразмерным переменным. В данном случае в процессе нагрева переменными величинами являются время τ , координата X , температура алюминиевого листа t . Безразмерной переменной, характеризующей время нагрева, является критерий Фурье $Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$, где a - коэффициент температуропроводности; τ - время нагрева, s ; l - ширина рулона, m . Безразмерная координата запишется выражением $\bar{x} = \frac{x}{l}$, где x - продольная координата. Температуру

в безразмерном виде запишем как $T = \frac{t_B - t}{t_B - t_0}$.

Проведенные преобразования позволяют записать постановку задачи нагрева алюминиевой пластины в безразмерной форме

$$\begin{cases} \frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2} \\ T|_{\bar{x}=0} = 0 \\ T|_{\bar{x}=1} = 0 \\ T|_{Fo=0} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку поставленная задача имеет нулевые, т.е. однородные граничные условия, это позволяет использовать для ее решения метод Фурье. Используя данный метод, проведя математические преобразования, окончательно решение задачи прогрева алюминиевого листа имеет вид

$$t = t_B - (t_B - t_0) 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos k\pi)}{k\pi} \sin(k\pi \bar{x}) \exp^{-(k\pi)^2 Fo}, \quad (3)$$

где $k = 1, 5, 9, \dots, \infty$, \bar{x} - безразмерная ширина рулона.

Полученная математическая модель позволяет проводить аналитическое исследование нагрева алюминиевых рулонов. Это дает возможность точно определить время нагрева и необходимое количество подводимой теплоты для нагрева, что позволит улучшить качество металла при оптимальных энергозатратах.

Список использованных источников

1. Одинцов М. В. Анализ процесса литья алюминия в кристаллизаторе с подвижным дном // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. С.-Петербург, март 2011 г.) / под общ. ред. Г. Д. Ахметовой. СПб. : Реноме, 2011. С. 126-129.
2. Горшенин А. С. Совершенствование процесса охлаждения алюминиевых слитков воздухом на основе моделирования регулируемого конвективного теплообмена : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.04 : защищена 07.11.2013 : утв. 11.03.2014 / Горшенин Андрей Сергеевич. Самара, 2013. 151 с.
3. Горшенин А. С. Математическое моделирование теплообмена при охлаждении ряда алюминиевых слитков // Вестник СГАУ. 2012. № 2 (33). С. 179-183.

УДК 621.6

Другов Д. А.
Уральский федеральный университет
drugov.1993@bk.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОТОРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТУРБИН СЕРИИ ПТ-135

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы проектирования цельнокованного ротора, применение которого позволит сократить затраты энергоресурсов в процессе эксплуатации.

Паровая турбина – это тепловой двигатель, особенностью которого является долгий срок службы и дорогой ремонт.

В России часть электрической и тепловой энергии вырабатывают теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии для систем централизованного теплоснабжения.

На ТЭЦ устанавливаются теплофикационные турбины. Одной из таких турбин является турбина ПТ-135/165-130/15 (рис. 1) производства «Уральского турбинного завода». Турбина имеет два теплофикационных и один производственный отбор.

С 2003 г. на одной из станций в роторе низкого давления была обнаружена кольцевая трещина. Выявленные трещины (рис. 2) представляют серьезную